PROEVE

EENER

GENETISCHE VERKLARING

VAN DEN

KLEURZIN.

PROEVE

EENER

GENETISCHE VERKLARING

VAN DEN

KLEURZIN.

DOOR

F. C. DONDERS.

Overgedrukt uit het Nederlandsch Tijdschrift voor Geneeskunde.

1884.



Toen ik, naar aanleiding van het onderzoek van spoorwegpersoneel, mij met de kleurstelsels ging bezig houden, had kort te voren EWALD HERING de theorie van YOUNG-HELMHOLTZ bestreden, om een nieuwe te berde te brengen, die hij de „Theorie der Gegenfarben" noemde.

1. *Theorie van* YOUNG. THOMAS YOUNG nam, zooals men weet, drie specifieke sensaties als fundamenteele of grondkleuren aan, die van rood, van groen en van violet, allen tegelijk opgewekt door iedere golflengte van het zichtbare spectrum, maar niet door iedere golflengte met gelijke kracht: die van rood het sterkst door de minst, die van violet door de meest breekbare stralen en die van groen door de stralen van gemiddelde breekbaarheid. — Uit de samenwerking dezer drie sensaties zouden die van alle kleuren geboren worden, en ook de sensatie van wit zou het resultaat, en wel uitsluitend het resultaat zijn van het samensmelten der drie sensaties.

Met zijne fundamenteele kleuren schiep THOMAS YOUNG het begrip der physiologische energieën (1801), 25 jaren reeds vóór JOH. MÜLLER (1826) zijne daarop gegronde theorie der gewaarwordingen ontwikkelde: processen in eene centrale substantie, waaraan bepaalde specifieke sensaties onveranderlijk eigen zijn, — onverschillig door welke lichtsoort of door welken vreemden prikkel die processen mogen zijn teweeggebracht. „En," zoo heette het verder bij YOUNG, „nu moge iedere gevoelige vezel uit drie gedeelten bestaan, één voor iedere hoofdkleur."

Aan die laatste woorden hebben velen te groot gewicht gehecht. Voor de theorie is het onverschillig, of men zich den oorsprong der drie processen in één of in drie verschillende elementen, de voortgeleiding in één en dezelfde of in drie verschillende fibrillen denkt: de voorstelling hieromtrent wordt bepaald door de theorie omtrent de zenuwgeleiding in het algemeen en — verandert met deze 1). Essentiëel in de theorie van YOUNG is alléén het beginsel der

1) Tegen mijne Verhandeling over de kleurstelsels bracht GIRAUD-TEULON (*Ann. d'Ocul.* T. LXXXVII, pag 5 e. s.) eenige bedenkingen in het midden, die op misver-

physiologische energieën en het reduceeren dier energieën tot het minimum, waaruit door combinatie alle kleursensatie te verkrijgen is. En beperkt YOUNG ze tot drie, en wel tot rood, groen en violet, het is, omdat hij meende zich overtuigd te hebben: „dat de volmaakte sensaties van geel en van blauw worden voortgebracht, resp., door mengsels van rood en groen en van groen en violet (-gevend) licht."

Met het ontbreken van de roode energie zou nu roodblindheid gegeven zijn, en eveneens groenblindheid uit een ontbreken der groene, violetblindheid uit dat der violette kunnen worden afgeleid.

2. *Theorie van* HERING. HERING houdt zich aan het beginsel der physiologische energieën, en wel aan een beperkt aantal. Dit beginsel is het, wat hij prijst in de theorie van YOUNG, — althans bij antithese, — verklarende, „dat „er overigens niet veel goeds van te zeggen valt."

En hoe past HERING het beginsel toe?

In plaats van de drie energieën van YOUNG, die door hare gecombineerde werking alle sensaties leveren, neemt hij drie paren van energieën aan, die van wit en zwart, van rood en groen, van geel en blauw, en verbindt die aan bepaalde processen in zijne „Sehsubstanz" of, wat ook geoorloofd is en de behandeling vereenvoudigt, aan drie verschillende substanties, die hij kortweg de wit-zwarte, de rood-groene en de geel-blauwe noemt. Antagonisten, „Gegenfarben" als sensaties, zouden zij ook in oorsprong aan tegengestelde processen

---

stand berustten, dat ik trachtte uit den weg te ruimen (*Ann. d'Ocul.* T. LXXXVII, p. 205). Zijne repliek echter (*Ann. d'Ocul.* T. LXXXVIII, p. 89), waarin hij blijk gaf, in 't algemeen met de gegeven ophelderingen voldaan te zijn, meende ik onbeantwoord te mogen laten, en evenzoo zijne later gevolgde interpellatie bij de Académie de Médecine (*Seance* du 31 Octobre 1882). Hier biedt zich de gelegenheid met een woord in het licht te stellen, dat de laatste bezwaren van mijn geachten tegenstander slechts daaruit voortspruiten, dat hij het essentiëele en het accessoire, of liever het onverschillige in de theorie van YOUNG niet heeft onderscheiden. Daarvan is het gevolg, dat hij mijne neiging, om verschillende processen aan één en dezelfde vezel te verbinden, niet heeft kunnen rijmen met mijn vasthouden aan de theorie van YOUNG. Ware zijn blik gevallen op pag. 383 der *Optique physiologique* van HELMHOLTZ (traduite par EMILE JAVAL et N. TH. KLEIN, Paris VICTOR MASSON et fils, 1867), zijne wel wat compromettante klacht over de onduidelijkheid mijner beschouwingen zou misschien zijn achterwege gebleven. „Il ne serait pas précisément nécessaire" had hij daar kunnen lezen, „d'admettre des fibres nerveuses différentes pour ces différentes sensations; on obtiendrait aussi les mêmes avantages que présente l'hypothèse de TH. YOUNG pour l'explication des faits, en admettant que chaque fibre puisse servir à trois actions complètement distinctes et indépendantes l'une de l'autre. Cependant, comme la forme primitive et plus palpable de l'hypothèse, telle qu'elle a été établie par TH. YOUNG, permet de mieux fixer les idées et le langage, quand ce ne serait que dans l'intérêt de la clarté de l'exposition, nous trouvons plus avantageux de la conserver". Zoo verklaarde zich HELMHOLTZ, een getuige, die zich omtrent den geest der theorie, die voor alle tijden zijn naam koppelde aan dien van THOMAS YOUNG, niet vergissen kan.

Of mijne beschouwingen aan duidelijkheid te wenschen overlieten, mogen zij beoordeelen, die in dien geest zijn doorgedrongen en in de algemeene physiologie van het zenuwstelsel zijn ingewijd.

verbonden zijn, — wit aan Dissimilirung D (verbruik), zwart aan Assimilirung A (opbouw) in de zwart-witte substantie, en eveneens in de beide andere substanties één der kleuren aan D, de andere aan A. Terwijl de processen in de verschillende substanties tot een gecombineerde sensatie leiden, zouden die in dezelfde substantie elkander wederkeerig opheffen: de complementaire kleuren van NEWTON en YOUNG hebben bij HERING voor antagonisten plaats gemaakt.

In verband nu met zijne theorie gaf HERING ook al aanstonds eene verklaring der kleurblindheid ten beste. „Was man jetzt einen Rothblinden nennt," zoo sprak hij, „ist vielmehr ein Roth-Grünblinder, das heisst, es fehlt ihm die roth-grüne Substanz. Dem entsprechend sieht er farblos was anderen in einer der beiden Grundfarben roth oder grün erscheint." Deze voorstelling heft het verschil op tusschen rood- en groenblindheid. De rood-groene substantie wordt ondersteld te ontbreken, en daaraan kan slechts één vorm beantwoorden, de rood-groen-blindheid. De beschrijving daarvan beantwoordt ook verder volkomen aan hetgeen zich uit de theorie liet voorspellen. Of ze even bedachtzaam met de feiten te rade ging, was de eerste vraag, waarvoor ik mij geplaatst zag, toen ik mijn onderzoek der kleurblinden begon.

3. *Kleurblindheid in het algemeen.* Wat wij onder zoogenaamde kleurblindheid in 't algemeen te verstaan hebben, is geen raadsel. Niet gemis aan kleurenzin, maar een eenvoudiger kleurstelsel dan het normale. Twee fundamenteele kleuren, naast de neutrale, niet meer en niet minder, zijn er aan eigen. Reductie dus der energieën tot twee.

THOMAS YOUNG verklaarde reeds: DALTON mist de roode energie; HERSCHEL betoogde, dat hij slechts een „dichromic system" had, en HELMHOLTZ en MAXWELL leverden daarvan het bewijs voor kleurblinden in het algemeen. Inderdaad zien kleurblinden in het spectrum slechts twee kleuren, die zich verliezen naar de neutrale kleurlooze lijn N, gelegen in het blauw-groen (op ongeveer 0.5 μ golflengte). Onzeker, aan welke sensaties die kleuren beantwoorden, meende ik ze als warme en koele te mogen onderscheiden, benamingen, die aan de kleuren van de rechter- en linkerzijde van het spectrum in het algemeen worden toegekend en die de kleurblinden zelven kenmerkend genoeg vinden. Trachten zij aan de verschillen in saturatie en intensiteit hunner beide kleuren nu ook nog verschillende namen uit de nomenclatuur van den normalen kleurzin te verbinden, — dat de verschillende tonen der warme en eveneens die der koele tot ééne en dezelfde kleur behooren, wordt dáárdoor bewezen, dat ze door toevoeging van wit en verandering hunner intensiteit allen aan elkander kunnen worden gelijk gemaakt. Ook kan uit iederen toon der warme met iederen toon der koele wit of grijs verkregen worden: ze zijn complementair.

Geldt dit van alle kleurblinden, zijn dan ook alle vormen van kleurblindheid aan elkander gelijk? Dat is een geheel andere vraag. SEEBECK (1827) was de eerste, die twee klassen onderscheidde. De onderscheiding was dáárop gegrond, dat de roode zijde van het spectrum bij sommigen donker, bij anderen helder was, in verband daarmede, bij de eersten, althans voor een spectrum van matige lichtsterkte, in vergelijking met dat van het normale oog, aan de roode zijde verkort, bij de laatsten niet. Terwijl nu bij genen de roode energie zou ontbreken, onderstelde men, dat de laatsten de groene zouden missen. Ook kwam

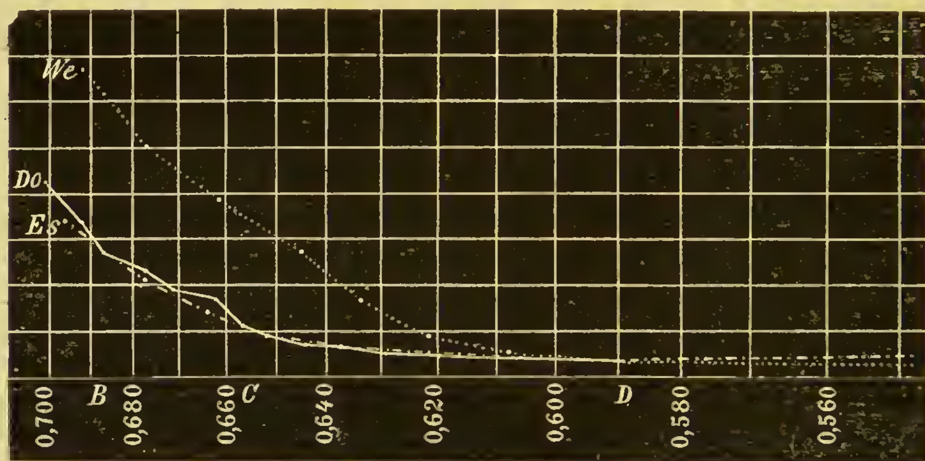
er sprake van het ontbreken der violette energie, een vorm, dien wij voorloopig ter zijde laten. Aan scherpe bepalingen bleef intusschen gebrek. De onderzoekingen van ROSE wezen wel op een verscheidenheid der gevallen, maar niet op twee groepen. Scherper werden ze door PREYER geteekend. En HOLMGREN verdedigde ze, op grond zijner vergelijkingen van wollen strengen en van zijne bepalingen met den chromatoskiameter, en handhaafde daarmede tevens de theorie van YOUNG-HELMHOLTZ.

4. *Spectraal-vergelijkingen. Methode.* Zooals gezegd, zag ik mij, bij den aanvang van mijn onderzoek, voor de vraag gesteld: Zijn de klassen van SEEBECK twee scherp omschreven typen, of kunnen ze tot individueele verschillen van één en denzelfden typus worden teruggebracht?

Na de gewone methoden van onderzoek allen beproefd te hebben, hield ik mij aan spectraal-vergelijkingen.

Aanvankelijk bediende ik mij van dubbel-spectroscopen met twee collimatorbuizen, die twee spectra leveren, het eene verschuifbaar boven het andere. Daarmede lieten zich de intensiteiten, omgekeerd evenredig aan de spleetwijdten der verschillende kleuren, onderling vergelijken. Zoo werden de krommen van fig. 1 verkregen, waarvan de abscis een gedeelte van het spectrum voorstelt,

Fig. 1.



zich uitstrekkende van groen (λ 0.550 μ) tot diep in het rood (λ 0.700), en de ordinaten van *We* en *Es* de voor gelijke intensiteiten gevorderde spleetwijdten. *We* nu is een roodblinde, *Es* een groenblinde, *Do* een normale, en het springt in het oog, dat, uitgaande van gelijke spleetwijdten van D, die naar de zijde van het rood veel sterker stijgen voor *We* dan voor *Es*, en bij het afdalen naar groen daarentegen die van *Es* weer stijgen, terwijl die van *We* dalende blijven. En aan een van deze beide typen beantwoordden schier zonder uitzondering al de onderzochte gevallen.

Intusschen, waren de uitkomsten reeds beslissend, de gewenschte scherpte hadden ze niet. De dubbelspectroscopen eischen twee lichtbronnen van gelijke intensiteit, waaraan moeilijk te voldoen is, en, ten gevolge van verschillen in richting en brandpunt, ziet men niet beide kleuren tegelijk even goed. Maar bovendien moesten mengsels van spectrale kleuren met enkelvoudige vergeleken

worden, en daarin voorzagen ook de meer samengestelde dubbelspectroscopen niet naar behooren. Alle doeleinden nu werden bereikt met een spleettoestel, waarvan het ontwerpen minder moeite kostte dan de constructie 1). De toestel heeft drie verticale spleten: twee gekoppelde naast elkander en één enkelvoudige, in horizontale richting beweeglijk onder de gekoppelde, en hij levert dus drie spectra uit dezelfde lichtbron, twee, gedeeltelijk over elkander liggende, van de gekoppelde, en een derde, onmiddellijk daarboven, van de enkelvoudige. — Door dezelfde schroef wordt gelijktijdig een der gekoppelde spleten zooveel verwijd als de andere vernauwd wordt, beide van 0 tot het maximum, terwijl de som der wijdten onveranderd blijft: die som kan overigens, voor iedere reeks proeven, naar goedvinden gewijzigd worden. De beide gekoppelden kunnen ook voor iedere reeks proeven op verschillende afstanden van elkander gebracht worden, zoodat hunne spectra elkander meer of minder dekken. *Men kan met die gekoppelde spleten dus alle kleuren van de beide spectra, bij alle intensiteiten, in alle proporties mengen.*

Terwijl de hand van den waarnemer de schroeven bereiken en de enkelvoudige spleet ook verschuiven kan, stelt de spleettoestel hem in staat, vergelijkingen te maken van ieder mengsel van twee spectraalkleuren met elk der tusschengelegene, en wel ten aanzien van kleur en intensiteit.

Als lichtbron laat zich zonlicht gebruiken. Maar zonlicht is niet constant, en intensiteit zoowel als samenstelling hebben invloed op de vergelijkingen. Daarom werd, waar vaste vergelijkbare uitkomsten verlangd werden, de voorkeur gegeven aan een helle gasvlam (brander van SUGG), waarvan top en basis waren afgesneden, zoodat alléén het constante middelstuk, 2 c.M. hoog, zijn licht uitzond naar het mat geslepen kleurlooze glas, dat als directe lichtbron diende.

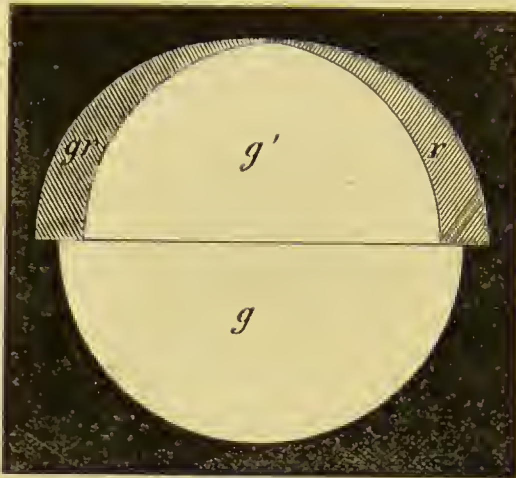
In den regel gebruikt men het spectroscoop met oculair en ziet daarmede de oculair-spleet, waarin het spectrum ligt, vergroot. Doch er is nog een andere wijze van waarneming, het oog, namelijk, onmiddellijk aan de oculair-spleet, waarbij deze alle doortredende stralen in het oog zendt, en wel in divergeerende richting, om het netvlies te treffen in een cirkel, beantwoordende aan den geheelen stralenbundel, die door de collimatorlens het prisma en de collectieflens bereikt. Deze methode, reeds door MAXWELL gebezigd voor de vermenging der spectraalkleuren van drie naast elkander gelegen lichtspleten, wordt bruikbaar ook voor boven elkander gelegene, door achter de collectieflens twee zeer dunne prismata aan te brengen 2), die men tweelingprismen noemen kan, met hunne brekende kanten in een horizontale lijn vereenigd. Zoodoende leveren de drie lichtspleten zes spectra, twee enkelvoudige en twee paren, waarvan de bovenste enkelvoudige en het onderste paar in de oculairspleet vallen, de stralen van het enkelvoudige in ietwat stijgende, die van het paar in ietwat dalende richting. Aan het enkelvoudige licht beantwoordt nu (fig. 2 *g*) de onderste helft, aan het gemengde *g'* de bovenste helft van den waargenomen cirkel, beide helften alléén gescheiden door een horizontale lijn, de verbindingslijn der

---

1) Beschreven bij VAN DER WEYDE, *Methodisch onderzoek der kleurstelsels van kleurblinden*, pag. 18. Utrecht, 1882.

2) Verg. VON KRIES und VON FREY, *Archiv f. Physiologie*, 1881, S. 336.

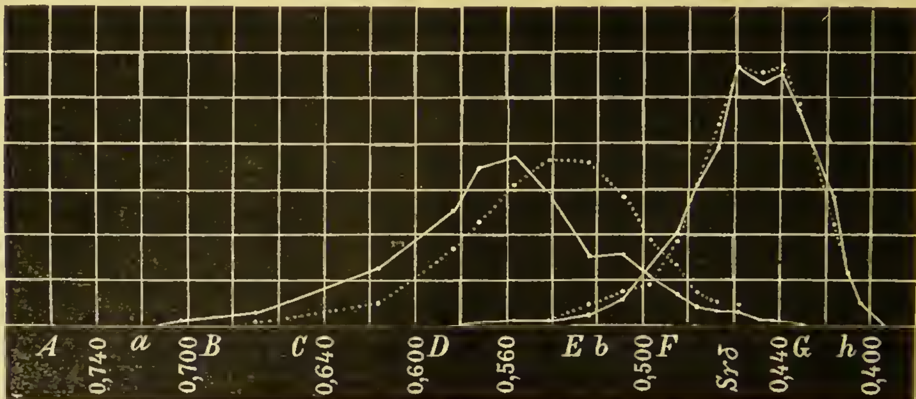
Fig. 2.



tweelingprismen. Het verschil in richting der stralen van de naast elkander gelegen gekoppelde spleten is oorzaak, dat de componenten *r* en *gr* ter zijde uitsteken en dus ook afzonderlijk zichtbaar worden. Deze wijze van waarneming heeft het voordeel van grootere vergelijkingsvlakken, in gelijke richting gezien, en een gelijkmatiger samensmelten der componenten, — geen ander nadeel, dan dat de lichtsterkten voor sommige kleuren wat gering uitvallen.

5. *Energieën en intensiteiten bij rood- en groenblinden.* Met den spleettoestel werden nu vooreerst de beide energieën bij rood- en groenblinden bepaald, als functiën der golflengten. Als koele component werd gekozen het indigo nabij G, namelijk λ 0.4316 μ, als warme het rood van D ½ C, namelijk λ 0.582 μ, en vergelijkingen werden gemaakt der mengsels van deze met iedere spectraalkleur, wier warme en koele ordinaat nu met de spleetwijdten gegeven waren. Onderstaande krommen (fig. 3), tot het interferentie-spectrum en tot gelijke

Fig 3.



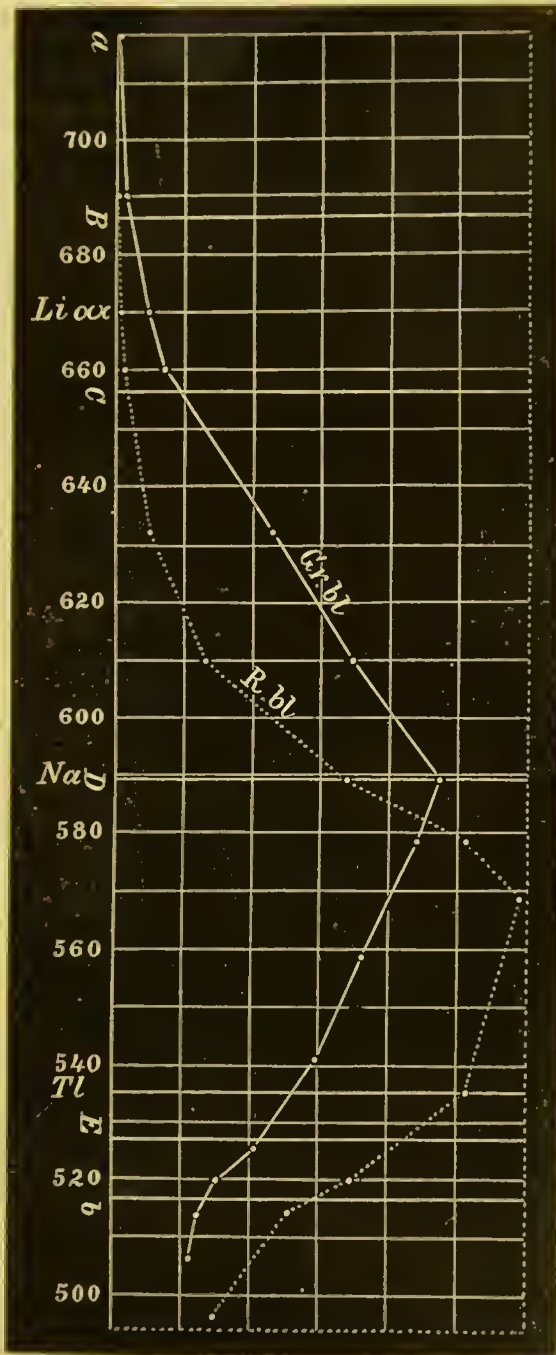
areas gereduceerd, wijzen de uitkomsten aan, verkregen bij hetzelfde zonlicht en afwisselende waarneming door een groenblinde, de gestippelde, en door een roodblinde, de getrokkene. Men ziet, dat de kromme der koele energie van D tot *h* ½ H voor beide nagenoeg gelijk zijn en gelijke ligging hebben, dat daarentegen de warme, met eenig verschil ook in den vorm, bij den groenblinde meer aan het rood, bij den roodblinde meer aan het groen beantwoordt.

Bij verscheidene kleurblinden werden dezelfde vergelijkingen gemaakt, en zonder uitzondering waren rood- en groenblindheid daarmede gekarakteriseerd.

In de tweede plaats werden, insgelijks bij rood- en groenblinden, de relatieve intensiteiten bepaald der verschillende kleuren van het spectrum. Deze worden achtereenvolgens geleverd door de enkelvoudige verschuifbare spleet en

vergeleken met een vaste kleur en vaste spleetwijdte van één der gekoppelde, terwijl de andere gesloten blijft. In fig. 4 geeft *Gr. bl* de uitkomsten bij een groenblinde, *R bl* die bij een roodblinde verkregen, beide gereduceerd als boven. Zij betreffen slechts de warme zijde van het spectrum, gaande ongeveer tot de neutrale: de koele zijde is bij het gebruikte gaslicht veel zwakker dan bij daglicht. Treffend nu is het verschil tusschen *R bl* en *Gr. bl.* En wat daaraan de hooge beteekenis geeft — is: dat ze voor alle rood- en voor alle groenblinden — de bepaling geschiedde voor de golflengten, waarop het aankomt, bij niet minder dan 18 personen — ongeveer gelijk zijn. Ik ga niet te ver, wanneer ik beweer, dat rood- en groenblinden beiden even typisch zijn als het normale stelsel.

Fig. 4.



6. *Bezwaren tegen de theorie van* HERING. Bij deze uitkomsten is het pleit beslist. Het schema van HERING, dat voor rood- en groenblindheid slechts éénen vorm kent, is onhoudbaar. HERING zelf kan het zich niet ontveinzen. Aanvankelijk scheen hij van de zijde der witte valentie nog een oplossing te verwachten. Hij wees er op, dat ook in het normale stelsel die valentie in het spectrale rood zeer gering is. Doch het is niet de vraag, of ze groot of klein is, maar hoe men uit het ontbreken der rood-groene substantie alléén zal verklaren, dat ze bij den groenblinde groot is, bij den roodblinde klein, en hoe bepaaldelijk deze laatste in overeenstemming te brengen zij met de alleszins normale witte valentie in het overige spectrum: HERING heeft zich streng genoeg tegen het verschuiven der prikkelbaarheidskrommen tegenover FICK verklaard, om het zichzelven niet te kunnen veroorloven. En thans, in de kritiek mijner Verhandeling, zou HERING de twee vormen, die, zoo als wij zagen, volkomen typisch zijn, willen terugbren-

gen tot individueele verschillen en gaat zoover ze te vergelijken met individueele verschillen der hardhoorendheid. Dat kan hem geen ernst zijn. Trouwens, wanneer hij daarop laat volgen: „Es stände schlecht um die Theorie der Gegenfarben wenn sie ohne die Stütze die sie in der pathologischen Farbenblindheit gefunden hat nicht bestehen könnte," zoo zie ik daarin de erkentenis, dat ze van die zijde geen steun te wachten heeft. En toch heeft de theorie er mee te rekenen. Ontvalt ze haar als steun, dan zou ze een struikelblok kunnen worden.

„Overigens", zoo schreef ik elders 1), „blijve niet onopgemerkt, dat alleen het schema, 't welk de kleurblindheid uit het *ontbreken* der rood–groene substantie verklaart, niet de theorie zelve, door den kleurzin der kleurblinden wordt veroordeeld. Het beginsel van verklaring uit het eenvoudig defect van zekere energieën heb ik bestreden, waar het de fundamenteele kleuren van YOUNG gold, en wat ik daar gezegd heb, vindt ook hier zijne toepassing. In zooverre de theorie van HERING deugdelijk is, zal haar verband tot de kleurblindheid niet te vergeefs gezocht worden".

Van mijn verdere bezwaren tegen de theorie van HERING, die in een opzettelijke kritiek werden uiteengezet, zal ik hier slechts de voornaamste aanstippen. Zij betreffen, in de eerste plaats, het verbinden van wit en zwart aan Dissimilirung D en Assimilirung A, waardoor Schrijver tot de consequentie „den Folgesatz" wordt geleid, dat de graden van helderheid (Helligkeit und Dunkelheit) louter afhankelijk zijn van D : A, volstrekt onafhankelijk van de absolute grootten van beide, eene stelling, die ik in onverzoenlijken strijd acht met de *conditio sine qua non* van alle Psychophysik: *de correspondentie der psychische en physische processen*, en die, zooals ik trachtte aan te toonen, ook door de ervaring wordt gelogenstraft. In de tweede plaats, het verbinden ook der kleurenparen aan D en A, aan gelijke processen dus als wit en zwart. Bij gelijke verhouding der processen postuleeren wij gelijke verhouding der sensaties: gelijke verhouding dus tot elkander voor twee kleuren van hetzelfde paar als voor wit en zwart. Is daaraan voldaan? In geenen deele. Wit en zwart, zoo leert HERING, vormen *mengsels, die de grijze tonen samenstellen* tusschen wit en zwart; rood en groen, daarentegen, en geel en blauw zijn *„Gegenfarben", die elkaar wederkeerig opheffen.* Bij gelijke verhouding dus der processen eene geheel ongelijke der sensaties! Met zulke miskenning van de eischen der Psychophysik kan ik niet meêgaan.

Bovendien, — spreken niet alle kleuren tot ons als gelijksoortige varieteiten eener sensatie, tegenovergesteld aan die van het kleurlooze? En duldt dan „eine ganz vorurtheilsfreie Analyse der Lichtempfindungen", waarvan HERING zegt uit te gaan, de eene helft aan processen van geheel tegengestelden aard te verbinden als de andere? Pleit voorts het ontstaan van alle onder den directen invloed der lichtgolven niet voor hare homologe natuur? De tegenstelling van alle kleur, zoowel als van het kleurlooze wit, is zwart, en zwart alléén wordt niet door een directen, maar door een indirecten invloed van het licht, als contrast, geboren.

Ik kan in de theorie van HERING niets anders zien, als een vernuftig schema

1) Nog eens: *De kleurstelsels*, blz 84, DANNENFELSER EN C⁰. Utrecht 1883.

der centrale processen, zonder proefsteen en niet — zonder willekeur, uit de analyse der sensaties afgeleid, en daarom als zoodanig te verwerpen, zonder daarbij te miskennen, dat zij, afgezien van de goede elementen, die er in verborgen liggen, door hare oorspronkelijkheid een krachtigen aanstoot gaf tot nadenken en onderzoek en — als zoovele dwalingen, die superieure geesten alléén in staat waren te begaan — ten voordeele der wetenschap kan gedijen.

7. *Bezwaar tegen de theorie van* YOUNG. Kan de theorie der Gegenfarben geen rekenschap geven van de verschillende vormen van kleurblindheid, de verklaring ook uit de theorie van YOUNG, die zoo gereedelijk voor de hand lag, stuit op bezwaren. Het eenvoudig ontbreken van één der energieën, waarin men ze meende te vinden, sluit in zich, dat de twee overblijvenden, vereenigd, een gekleurde sensatie geven, de roode en violette bijv. van den groenblinde de sensatie van purper. En is daaraan voldaan? Alvast niet voor den kleurzin van het indirecte zien, dien velen met kleurblindheid gelijkstellen. Tot aan de grenzen van het gezichtsveld heerscht, zooals wij allen weten, de sensatie van wit zoo goed als in de gele vlek.

ADOLPH FICK, die het eerst op de hier bedoelde tegenstrijdigheid opmerkzaam maakte, meende ze te kunnen oplossen, door de kleurblindheid te zoeken — niet in het ontbreken van een der energiën, maar in een wijziging der „Endapparate", die, „etwas anders beschaffen", in prikkelbaarheid tegenover de verschillende lichtgolven van de normale zouden afwijken. Was die afwijking nu van dien aard, dat voor twee soorten van „Endapparate" die prikkelbaarheid gelijk werd, dan zouden van de drie processen in het centrum, die ondersteld werden onveranderd te zijn gebleven, constant twee in gelijken graad worden in werking gebracht en het stelsel dus feitelijk beperkt zijn tot twee, die dan, gecombineerd, wit gaven.

Maar is die onderstelling aannemelijk? Afgezien van het onverklaarbare, dat twee der „etwas anders beschaffene Endapparate" volkomen gelijke prikkelbaarheid voor alle stralen zouden aannemen, ziet FICK voorbij, dat, naar onze genetische begrippen, de centrale processen aan de peripherische moeten beantwoorden, en dat het ongeoorloofd is, de peripherie met andere elementen te voorzien, hare energiën in zekeren zin te reduceeren, en — de drie centrale processen te handhaven, terwijl twee samenvallende geen zin en dus geen grond van bestaan hebben, hoegenaamd.

8. *Kleurzin bij het indirecte zien.* De kleurzin — evenals de locaalzin — van het indirecte zien kan, in betrekking tot dien van het directe, blijkbaar niet anders worden opgevat dan als een lagere ontwikkelingsvorm, een minder volkomene differentiatie dus van den lichtzin, dien wij ons voorstellen aan den kleurzin te zijn voorafgegaan.

Wat is nu het karakter van dien kleurzin van het indirecte zien? Terwijl RUD. SCHELSKE tot het resultaat kwam, dat, op zekeren afstand van de gele vlek, de kleurzin met dien van rood-blindheid gelijk staat, zag AUBERT, ook na opzettelijk onderzoek, — in dien kleurzin slechts een gradueele afwijking van dien van het directe zien. Bij de talrijke onderzoekingen, die nu volgden, stelde men zich meestal ten doel, de grenzen te bepalen, waar de kenmerkende indruk van bepaalde kleuren ophield en zich verder naar de peripherie nog wijzigde

en ontwierp perimetrisehe krommen om het gefixeerde punt voor iedere kleur. Leerrijker, in betrekking tot de hier gestelde vraag, sehenen mij kleurvergelijkingen. Ik bediende mij daartoe van twee quadraten van gekleurd papier, op kleinen afstand van elkander vastgestoken nabij het eene einde eener langwerpige kurkplaat, bekleed met zwart fluweel en opgehangen voor het holle vlak van een met gelijk fluweel bekleeden halven cylinder, in loodrechten stand den boog van den perimeter omspannende. Het oog was zoo geplaatst, dat, bij beweging der gezichtslijn in een horizontaal vlak, het beeld van het eene quadraat constant iets boven, het andere iets onder den horizontalen netvliesmeridiaan kwam te liggen. De quadraten, eerst bedekt gehouden met een tweede plaat als boven, werden nu bij fixatie onder een bepaalden hoek ontbloot, om naar welgevallen op nieuw bedekt en bij gelijke of veranderde fixatie weêr ontbloot te worden.

Uit die proeven is gebleken, dat het netvlies, ongeveer 40° *temporaalwaarts van de fovea centralis,* bij normalen kleurzin, zich nagenoeg verhoudt als de omtrek der fovea bij den groenblinde. Rood, oranje, geel en groen (warme kleur) zijn, bij gepaste lichtsterkte en saturatie, hier aan elkander gelijk; evenzoo blauw, indigo en violet (koele kleur). Terzelfder plaatse vertoonen de neutrale kleuren der groenblinden, blauwgroen en karmijn, van de juiste tint zich spoedig grijs. Bedekt men ze nu met een grijs van gepaste helderheid, zoo blijkt van geen verandering, maar daarna het grijs wegnemende, ziet men de kleuren voor een oogenblik zwak te voorschijn treden, om weer spoedig voor grijs plaats te maken. *Mediaanwaarts van de fovea* zijn zwakker licht en langer inwerking noodig, om gelijke resultaten te verkrijgen.

Van het bestaan eener zone van absolute kleurblindheid (achromatopsie) op de uiterste grens van het gezichtsveld, door sommigen aangenomen, heb ik mij niet kunnen overtuigen. Krachtig blauw vertoont zich hier blauwachtig en wordt eerst allengs grijs, om, na eenige oogenblikken door grijs gedekt te zijn, bij het ontblooten op nieuw blauw te voorsehijn te treden. Met grijs gedekt, na *korte* inwerking op het oog, maakt het blauw plaats voor een geelachtigen sehijn, dien krachtige warme kleuren ook direct te voorschijn roepen.

De slotsom is deze: dat, terwijl de kleurzin naar de peripherie van het gezichtsveld afneemt, het stelsel allengs tot het dichromatische nadert, eerst tot de groenblindheid en, onder grooteren hoek, tot de roodblindheid, om op de uiterste grens deze laatste in haren onvolkomensten vorm te vertegenwoordigen, dat is, bij hoogst geringe saturatie der warme en koele kleur, naderende tot achromatopsie. Het onderscheid tusschen de stelsels der kleurblinden en die van het peripherische zien bestaat slechts dáárin, dat bij het laatste kleurverschillen nog even opdoemen, die het kleurblinde oog niet kent.

9. *De neutrale sensatie van den kleurblinde.* Buiten kijf nu is bij den kleurblinde de neutrale sensatie evenzeer kleurloos als die van het indirecte zien. Bij het vermengen zijner warme en koele kleur ziet hij niet wat normalen zien bij het vermengen van combinatiekleuren, bijv. rood en blauw tot purper, waarin de beide componenten zichtbaar blijven, maar — wat zij zien bij het vermengen van complementaire: geen gemengde kleur, maar het óndergaan van beide in het kleurlooze, de tegenstelling van beide. En dat ook de neutrale in het spectrum

kleurloos is, dáárvan hebben wij het bewijs in de uiterst kleine waarschijnlijke fout 1), waarmede ze bij vergelijking met wit te bepalen is (veel kleiner dan bij de bepaling van eenig punt in het spectrum), — waarvoor juist in het keerpunt tusschen de koele en de warme wel het allerminst de voorwaarde zou gegeven zijn, wanneer men met een kleurvermenging te doen had. Trouwens, nu het gebleken is, dat eenzijdig kleurblinden met het kleurblinde oog wit zien als met het andere, schijnt het bijna overtollig naar bewijzen te zoeken, dat bij dubbelzijdige hetzelfde voor beide oogen geldt.

De kleurblindheid is dus niet te verklaren eenvoudig uit defect van een der energieën. Reeds a priori was dit niet wel aannemelijk. Met onze begrippen van ontwikkeling strookt het niet, dat van drie processen, die een organisch geheel vormen, ééne zou kunnen achterwege blijven en de andere blijven wat ze zijn. Ook de twee processen vormen, zooals gebleken is, een harmonisch geheel. Het ligt dus voor de hand, ze als een ontwikkelingstrap op te vatten van het normale stelsel. En uit den lichtzin geboren, kunnen, naast het kleurlooze, twee kleuren niet anders optreden dan in het karakter van complementaire. De hypothese is dus geoorloofd, dat de kleurblindheid een phylogenetische beteekenis heeft.

10. *Erfelijkheid.* Hiervoor pleit nu ook verder de transmissie der kleurblindheid op volgende geslachten. Mannen, zooals men weet, deelen ze niet mede aan hunne zonen; maar door tusschenkomst hunner dochters, waarin ze latent blijft, uitsluitend aan hunne kleinzonen. Dit is het eenstemmig resultaat van allen, die zich met het vraagstuk bezig hielden. Ook mij is nooit een geval voorgekomen van kleurblindheid bij vader en zoon, en waar het voor mocht komen, zou het nog te bewijzen zijn, dat de zoon ze niet aan zijn moeder te danken had. De transmissie heeft dus geheel het karakter van reversie of atavisme. En zij moet als zoodanig wél onderscheiden worden van de overerving van secundaire geslachtskenmerken in het algemeen, die, wel is waar, zich slechts in één der seksen manifesteeren en van de sekse, waarin zij latent blijven, door transmissie aan die ééne kunnen worden medegedeeld, maar die niet minder rechtstreeks van den vader of de moeder resp. op den zoon of de dochter worden overgebracht 2). Dit verschil werd niet genoeg in het oog gehouden. Toch is daaraan groote beteekenis te hechten. Reversie immers heeft in het algemeen betrekking tot voorafgegane ontwikkelingsvormen. Zij is dus blijkbaar een grond, om het tweekleurenstelsel als een ontwikkelingstrap van het normale te beschouwen. En zoo worden wij tot de onderstelling gevoerd, dat het normale stelsel in het tweekleuren-stelsel zijn oorsprong vond, het eerst bij de vrouw en aanvankelijk ook uitsluitend in haar geslacht voort-

1) Vgl. VAN DER WEYDE, l. c. p. 15, en KÖNIG *Verhandl. der physik. Gesellschaft in Berlin.* 1883.

2) Volgens VIELIE zou de bloederziekte, die eveneens hoofdzakelijk aan mannen eigen is, in twee familiën (in Graubunderland) zich ook uitsluitend door tusschenkomst der dochters hebben voortgeplant. Er zijn echter (verg. IMMERMANN, in ZIEMSSEN, *Handb der Spez. Pathol. u. Therapie*, B. XIII) in verscheidene familiën gevallen waargenomen, waarin ze ook onmiddellijk van den vader op den zoon werd overgebracht.

geplant, om eerst later zich ook in het mannelijke te openbaren en voortdurend zich uit te breiden, terwijl, naast oefening, natuurkeus — in het bevredigen van behoeften en in het vermijden van gevaren — en in het bijzonder geslachtskeus zich deden gelden 1). In deze laatste speelt, zooals men weet, de schoonheidszin een groote rol, en niet het minst de zin voor kleuren, waarmede wij natuur en kunst als om strijd zien woekeren. En zou nu ook ten huidigen dage de kleurblinde, die voor het bekoorlijke van rozenwangen en purperlippen geen oogen heeft, op het gebied van het geslachtsleven wel tot de wakkerste strijders behooren, en niet een iets of niets ten achter staan bij de gelukkige bezitters van het volkomen stelsel? — Langs dezen weg, zoo stellen wij ons voor, is dit stelsel allengs ook het erfdeel geworden in het mannelijk geslacht, en komt het tweekleurenstelsel ook hier nog slechts bij uitzondering, en enkel krachtens de genoemde reversie, te voorschijn. Of, onder zekere omstandigheden, ook uit vroegere geslachten nog gevallen van kleurblindheid als atavisme zich opdoen, zal moeilijk door ervaring zijn uit te maken.

11. *Ontwikkeling in historische tijden.* Wat hier over de ontwikkeling van den kleurzin gezegd werd doelt geenszins op de ontwikkeling in historische tijden, vóór weinige jaren door GEIGER en GLADSTONE ter sprake gebracht. Ik geloof, dat thans algemeen wordt ingezien, wat al aanstonds VON ZEHENDER in het licht stelde: dat men geen recht heeft uit het ontbrekende woord tot de ontbrekende sensatie te besluiten. Van de empirische zijde trad ook weldra GRANT ALLEN als bestrijder der hypothese op. Begrijpende, dat de kleurzin van minder beschaafde volken beslissend kon zijn voor de opgeworpen vraag, haastte hij zich, uit alle oorden der wereld berichten in te winnen, en zie — zij troffen zonder uitzondering samen in de conclusie: „that the coloursense is as a whole absolutely identical throughout all branches of human race.” Die algemeenheid nu gedoogde niet langer de onderstelling, dat in historische tijden bij sommige volken de kleurzin zou hebben achtergestaan.

Tot gelijke uitkomst voerden de bemoeiingen van PECHUËL LÖSCHE en MAGNUS en lokten van laatstgenoemde de getuigenis uit, dat hij zich „über die Tragweite der durch sprachvergleichende Untersuchungen gewonnenen Erkentnisse betrogen hatte”.

Maar GRANT ALLEN, niet tevreden met de behaalde zege, vervolgde de leer der historische ontwikkeling tot in de kleurblindheid, welker steun haar geboden was 2), en wilde in deze niets anders als een ziekte der beschaving zien. Ontbreekt ze dan bij onbeschaafde volken? De berichten zwegen daaromtrent, want geen der gestelde vragen had daartoe betrekking. Maar thans zijn wij in staat, daarop een ontkennend antwoord te geven. Zelfs bij de Tschuktschen, een volksstam, die nauwelijks aanraking met de beschaving had gekend, vond ALMQUIST 3),

---

1) Vgl. GRANT ALLEN, *The colour-sense: Its origin and development.* London 1879, — door ALFRED R WALLACE (*Nature* 1879, Vol. XIX, pag. 501), trots zijn bedenkingen, „an interesting and suggestive work” genoemd, — een uitspraak, die ik volkomen beaam.

2) Vergelijk POLE, *Nature*, 1878, pag. 676.

3) Zie den brief van ALMQUIST in HOLMGREN's *Bidrag till belysning af frögen färgsinnets historike utveckling*, pag. 1, 1879.

als Natuurkundige aan de Vega expeditie van NORDENSKJÖLD verbonden, de gewone verhouding aan kleurblinden, op 300 niet minder dan 9, allen mannen, en bovendien 18 met zwakken kleurzin. En wat de standen betreft in onze maatschappij, vindt men wel van een grootere verhouding in de lagere volksklasse melding gemaakt 1), waaraan men overigens geen te groote waarde hechte, doch, zoover ik weet, nergens van het tegendeel. In het algemeene voorkomen nu bij alle volken, bij alle standen (een paar karavanen van een tiental Nubiërs werpen den regel niet omver), ligt alweder een aanwijzing om in de kleurblindheid een ontwikkelingstrap te zien van het normale stelsel.

Werpen wij thans een blik op de

12. *Verschillende vormen van kleurblindheid.*

a. Absolute kleurblindheid (achromatopsie). Zijn er gevallen bekend van lichtzin zonder kleurzin in het huidige geslacht? Zoover ik heb kunnen nasporen, alléén als pathologische vorm. Voor vele jaren heb ik een geval van dien aard beschreven. Gekleurde glazen, zonder onderscheid, werkten als grijze: zij temperden het licht en waren bij sterk daglicht, dat de oogen spoedig verblindde, als zoodanig allen even aangenaam. Naast die lichtschuwheid bestond torpor, zoodat, na adaptatie in het duister, eerst bij het twee- of drievoudige licht van hetgeen normalen behoeven een lichtschijn merkbaar werd en figuren (in het kastje van FÖRSTER) werden onderscheiden. Ook was de gezichtsscherpte aanzienlijk verminderd, op het rechteroog tot $^1/_6$, op het linker tot $^1/_{10}$. Toch kon bij kunstlicht en bij getemperd daglicht (bij bestaande myopie zonder bril) uren lang gelezen worden, zonder stoornis of vermoeidheid. De media en de fundus waren normaal, alléén de papillae meer grauw dan rood en omgeven met den atrophischen boog der myopen. Geen beperking van het gezichtsveld. Bij het spectroscopisch onderzoek, waartoe ik later gelegenheid vond, bleek het maximum van intensiteit voor zonlicht nagenoeg in het midden van het (interferentie-)spectrum te liggen (op λ 0.524 μ) en van hier regelmatig, bijna symetrisch, naar beide zijden te dalen, met een geringe beperking aan beide zijden, in evenredigheid met den torpor.

Dit geval nu is gebleken typisch te zijn. Een tweede zag ik te Londen bij mijn vriend CRITCHETT, en overeenkomstige gevallen zijn vermeld door EDMOND ROSE, RAEHLMANN, MAGNUS, GALEZOWSKY, LANDOLT, BRAILEY (mij schriftelijk medegedeeld uit de praktijk van BOWMAN) en NETTLESHIP, — door dezen niet minder dan 23 gevallen in 7 familiën. Is van de meeste de beschrijving zeer onvolkomen, ze behooren toch kennelijk tot dezelfde type. De door mij geconstateerde verschijnselen wijzen reeds voldoende op een pathologischen oorsprong; maar in vele gevallen vindt men bovendien nystagmos opgeteekend, niet zelden ook een lichten graad van atrophie der papillae n. optici en, onder

---

1) Zie onder anderen, MAGNUS in v. GRAEFE's *Archiv* XXIV. 4. pag. 206.
Idem VON REUSS, Idem XXIX. 2. pag. 254.

de gevallen van NETTLESHIP, in dezelfde familie, naast de typische, enkele met verdere veranderingen in den fundus oculi, blijkbaar het gevolg van intra-uterine ontsteking, voorts met stoornis der intellectueele vermogens, tot idiotisme toe, — mijns inziens allen te verklaren uit een verdere uitbreiding van hetzelfde ziekelijk proces, dat aan de typische gevallen ten gronde ligt. Een geval van normalen lichtzin, zonder kleurzin, heb ik nergens kunnen ontdekken. Het door BECKER beschrevene van eenzijdige kleurblindheid boezemt mij geen vertrouwen in 1) en zou bovendien niet als absolute kleurblindheid kunnen gelden. Naast het geval van BECKER vermeldt STILLING's atlas er slechts één van verkregen kleurblindheid en één gecompliceerd met amblyopie.

In het huidige menschengeslacht schijnt zuivere achromatopsie dus niet voor te komen.

b. Den zwaksten graad van kleurzin vinden wij in de zoogenoemde *violet-blindheid*, een zeer zeldzamen vorm. In het door mij onderzochte geval vertoonde het spectrum van diffuus daglicht een breeden grijzen band, zich uitstrekkende over het breekbaarste geel en het groengeel. Die breede neutrale band wijst reeds op de geringe saturatie der kleuren, in den regel aan de violetblindheid eigen. Daarbij was het spectrum aan de violette zijde lichtzwak, resp. verkort. Van den grijzen band stijgt aan beide zijden de saturatie tot aan de grenzen van het spectrum, terwijl aan de warme zijde de intensiteit onmiddellijk, aan de koele eerst na een korte stijging begint te dalen. — De gezichtsscherpte was normaal, en in den fundus oculi was geenerlei afwijking te ontdekken; maar de gevoeligheid voor licht was tot op $^2/_5$ verminderd. De zwakke kleurzin, ook ten aanzien van het fundamenteele rood en groen, bleek dááruit, dat, bij quantitatieve bepaling met doorvallend licht, die voor rood slechts $^1/_3$, die voor groen nog iets minder bedroeg. Ook in het gewone daglicht bleken licht en kleurindruk van kleine schijfjes op zwart fluweel bij die van het normale oog ver achter te staan.

HOLMGREN had gelegenheid een merkwaardig geval van éénzijdige violet-blindheid te onderzoeken. Vergeleken met het andere oog, bleek de warme kleur een rood te zijn, iets overhellende naar het karmijn, „overeenkomende met het uiterste rood van het spectrum," de koele een groen, iets overhellende naar het blauw. De neutrale lag in het geelgroen, een weinig voorbij D. Van hier strekte de warme kleur zich uit zoover als het rood van het normale oog, de koele tot voorbij het indigo, ongeveer tot G. Blijkbaar was de saturatie der fundamenteele kleuren in dit geval grooter dan in het mijne. — Ook STILLING onderzocht een geval met het spectroscoop. Hij vond aan de violette zijde geen beperking, maar den lichtindruk reeds in het blauw gering en kleurloos: een en ander wekt het vermoeden, dat diffuus licht in het spel was, 'twelk op de grenzen van het spectrum ons zoo licht parten speelt.

Evenals bij de rood- en groenblindheid, zijn de kleursverwarringen verklaard uit de gelijkheid van alle kleuren, die óf aan de warme, óf aan de koele zijde der neutrale zijn gelegen, en uit het kleurlooze der neutrale. Bij verkorting van het spectrum vertoont sterk breekbaar blauw zich zeer donker en is het hemelblauw nauwelijks te onderscheiden van het grijs der wolken.

---

1) Vergelijk nog eens: *De kleurstelsels*, blz. 18 e. v.

De slotsom nu is, dat de violetblindheid hare plaats onder de tweekleurenstelsels kan vindiceeren, als hebbende met die stelsels gemeen, dat twee complementaire kleuren, een koele en een warme, uitgaan van een neutralen band en zich naar de respectieve uiteinden van het spectrum met verminderde intensiteit tot de grootste saturatie ontwikkelen. Doet de verminderde gevoeligheid voor licht, die in mijn geval werd geconstateerd en in andere moge bestaan hebben, aan een pathologischen oorsprong denken, zoo treedt daartegen in het krijt, dat alle ziekelijke complicatie ontbreekt, dat zij geen erfelijk verband vertoont tot achromatopsie en, daarin afwijkende van deze, met rood- en groenblindheid dit gemeen heeft, dat ze schier uitsluitend aan het mannelijk geslacht eigen is. — Zooals blijken zal, meen ik de violetblindheid als ontwikkelingsanomalie, niet als ontwikkelingstrap, te moeten opvatten.

c. *Roodblindheid* is een der welbekende typische vormen van het tweekleurenstelsel. De neutrale ligt in het blauw-groen, dat dus kleurloos is, en van hier strekken weder de koele en de warme zich met toenemende saturatie naar de respectieve einden van het spectrum uit: naar de warme zijde aanvankelijk met sterk toenemende lichtintensiteit, die in het geel-groen haar maximum bereikt, om, van daar snel dalende, in het gewone spectrum van diffuus licht reeds bij B onzichtbaar te worden, — aan de koele zijde met een intensiteit, ongeveer gelijk aan die van het normale oog, ze bij sommigen zelfs overtreffende. Ook van de kleursverwarringen, waaraan zij blootstelt, is rekenschap gegeven. Alle kleuren, aan de warme zijde der neutrale gelegen, — groen, geel en rood, — zijn aan elkander gelijk en worden dus verwisseld, behoudens de aanwijzing, uit intensiteit en saturatie geput. Zoo wordt wat sterk gesatureerd is door roodblinden rood genoemd, wat bleek is daarentegen groen, en dan wel vaak terecht, en zij vergissen zich nimmer omtrent geel, wanneer het met helderheid een saturatie vereenigt, die andere kleuren nooit bereiken; maar in werkelijkheid zijn zij als kleuren allen gelijk. En hetzelfde geldt van groenblauw, blauw en violet, die tot de koele behooren. Eindelijk, kan ieder mengsel van een warme en een koele kleurloos schijnen, zooals purper en chamois. In den regel zijn de beide fundamenteele kleuren der roodblinden goed gesatureerd, niet minder dan die van het normale oog. Staat de saturatie in enkele gevallen iets lager, van een naderen tot achromatopsie kan nauwelijks sprake zijn. — Afgezien van den kleurzin zijn roodblinde oogen volkomen normaal, van gelijke gezichtsscherpte en even deugdelijk in het gebruik als normale, zonder complicatie met ziekten of gebreken, zonder voorbeschiktheid tot ziekelijke processen, van welken aard ook. Gezonde oogen in een gezond lichaam.

d. *Groenblindheid.* Even typisch, zooals wij zagen, als de roodblindheid, daarvan slechts onderscheiden door de intensiteit harer beide energieën als functie der golflengte. Uitgaande van de iets naar de warme zijde verschovene neutrale, die ook lichtzwakker is dan bij den roodblinde, stijgt de intensiteit langzamer, om eerst in het geel, nabij D, haar maximum te bereiken, en doet tot aan het einde van het spectrum niet voor die van het normale oog onder. Ook van de koele kleur is de intensiteit ongeveer aan die van het normale oog gelijk.

Wat van de kleursverwarringen bij roodblinden gezegd is, geldt in het algemeen ook voor groenblinden, in verband met schier gelijke ligging der neutrale. Alle verschillen vloeien daaruit voort, dat groenblinden het rood betrekkelijk zooveel helderder zien, en in de vergelijkingen met geel en vooral met groen een betrekkelijk donker rood aanwijzen. Dit was het, wat SEEBECK tot het onderscheiden zijner twee klassen voerde.

e. Zwakke kleurzin. Er komen gevallen voor, niet minder talrijk dan de kleurblinden, waarin de kleurzin het midden houdt tusschen kleurblindheid en het normale stelsel. In het algemeen staan zij aan dezelfde verwisselingen bloot als de kleurblinden, maar alléén ten aanzien van kleuren van geringe saturatie of helderheid. Van volkomen kleurblinden onderscheiden zij zich dáárdoor, dat uit een warme en een koele kleur, uit rood en blauw b.v., voor hen geen wit te maken is. Bepaaldelijk zijn zij minder gevoelig voor overgangen van geel tot groen 1), waarvan men zich met het dubbelspectroscoop gemakkelijk kan overtuigen. Om die gevoeligheid, ook bij normalen en kleurblinden, vergelijkend te bepalen, sloeg ik nog een anderen weg in, mij bedienende van dubbelprisma's, samengesteld uit twee zeer lange vochtprisma's, het eene (de basis naar boven gekeerd) gevuld met een groene, het andere (de basis naar beneden) met een gele vloeistof van bepaalde samenstelling en concentratie, die, tot een parallelopipedum verbonden, bij verschuiving voor een lichtspleet dus alle overgangen van groen tot geel vertoonden. Bij gelijken stand van twee dergelijke dubbelprisma's waren beide kleuren gelijk. De kleinste merkbare verschillen, bij verschuiving van een der dubbelprisma's, werden nu naar de methode der valsche en juiste gevallen bepaald, en het resultaat was, dat bij zwakken kleurzin de gevoeligheid voor verschillen gemiddeld zevenmaal kleiner was dan bij het normale oog.

Een nieuw criterium vond ik bij het maken van vergelijkingen. Lord RAYLEIGH 2), professor in de experimenteele physica te Cambridge, had opgemerkt, dat, om uit rood en groen geel te vormen, de gevorderde proporties der componenten voor verschillende personen zeer uiteenloopen. Kleurblindheid zou daarbij niet in het spel zijn: er zouden veeleer twee typen bestaan van normalen kleurzin. Bij herhaling der vergelijkingen met bepaalde spectraalkleuren (de boven, pag. 72, beschreven methode werd daarbij gebezigd) en wel met die der roode Lithium- *Li* en der groene Thallium-streep *Tl* als componenten en de gele Natrium-streep *Na* als vergelijkingskleur voor het mengsel, op groote schaal 3), vonden wij de onderscheiding van Lord RAYLEIGH bevestigd. Voor de groote meerderheid werd, om *Na* te vormen, van onze constante lichtbron *Tl* en *Li* in de verhouding van ongeveer 1 : 3 gevorderd; maar eenige weinigen, die gemiddeld de verhouding eischten van nagenoeg 1 : 1, vormden een tweede kategorie. Deze nu bleken bijna zonder uitzondering een zwakken kleurzin te bezitten. — Spoedig waren, met behulp der pseudo-isochromatische letterteekens van STILLING, nog een grooter aantal gevonden, wier kleurzin te

1) *Onderzoekingen Physiologisch Laboratorium.* D VII. pag. 95.

2) *Nature.* 1881. pag. 64.

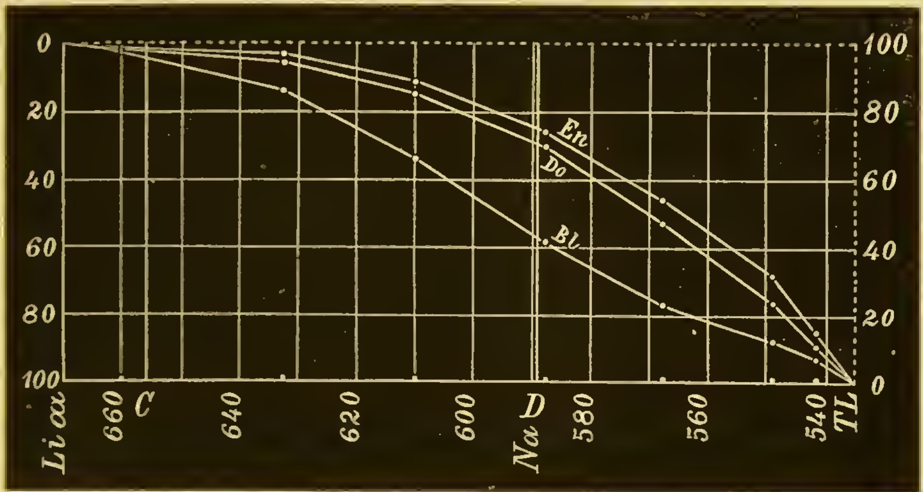
3) *Onderzoekingen Physiologisch Laboratorium.* Utrecht. VIII. pag. 170.

kort sehoot, deels dezulken met zwakken kleurzin, deels ware kleurblinden. De laatsten — en daarin lag werkelijk een eriterium — zijn niet in staat de vergelijking te maken: de beide eomponenten en de vergelijkingskleur behooren allen tot hunne warme fundamenteele en zij moeten dus afgaan op de saturatie, die zelfs de meest geoefenden in den steek liet. De eerste behoorden ook weder voor het grootste deel tot onze tweede kategorie.

Op gelijke wijze als voor de vergelijkingen met *Na*-geel, bepaalden wij de proporties, waarin *Li*-rood en *Tl*-groen gevorderd werden voor de vergelijkingen met alle tusschen de *Li*- en de *Tl*-streep gelegen kleuren.

De uitkomsten lieten zich gemakkelijk onder krommen brengen, en wel die voor *Li*-rood tot *Tl*-groen, naardien hare som (die der gekoppelde spleten, verg. blz. 5) onveranderlijk = 100 is, beide onder ééne en dezelfde kromme:

Fig. 5.



D o is die van DONDERS.
E n is die van ENGELMANN.
B l is die van BLONK.

De abseis der figuur is weder het (interferentie-) speetrum, gaande van *Li* met λ 0.6705 μ tot *Tl* met λ 0.535, waarop de verdere golflengten benevens C en D van FRAUNHOFER zijn aangewezen. — De doorloopende lijn, links, neerdalende van 0 tot 100, is de *Li*-ordinaat; de gestippelde, reehts, opstijgende van 0 tot 100, is de *Tl*-ordinaat, die de bovenste (gestippelde) horizontale, gelijk aan de onderste, tot abseis heeft. De van ieder punt der kromme naar boven en naar onder geriehte ordinaten vertegenwoordigen dus de hoeveelheden *Li*-rood en *Tl*-groen.

Soortgelijke krommen werden van een groot aantal personen ontworpen. Die van oogen met normalen kleurzin liggen voor het grootste deel tussehen die van DONDERS en ENGELMANN, die voor oogen met zwakken kleurzin in de nabijheid van die van BLONK.

Belangrijk nu is het in hooge mate, dat in al deze gevallen, zonder uitzondering, de intensiteits-vergelijkingen aan de warme zijde met die der groenblinden (en dus met de normalen) overeenkomen, geen enkel met die der roodblinden. Van de groenblinden dus alléén komen wij door die met zwakken

kleurzin tot de normale. En opmerkelijk is het, dat dit geschiedt met twee sprongen, van groenblindheid naar zwakken kleurzin en van dezen naar den normalen: zwakke kleurzin schijnt bijna even typisch als groenblindheid en als normale; eer zijn nog overgangsvormen te vinden van groenblindheid naar zwakken kleurzin, dan van dezen naar normalen, tusschen welke beide laatste een groote leemte bestaat.

Dit alles is in de eerste plaats afgeleid uit de vergelijkingen van $Li + Tl = Na$. Ik beweer nu niet, dat hierin een vaste maatstaf ligt voor de ontwikkeling van den kleurzin. Er komen gevallen voor van zwakken kleurzin, waarin de normale proportie van *Tl* en *Li* gevorderd wordt, — gevallen, die nog een nader onderzoek behoeven, — en ook enkelen van *bijna* normalen kleurzin, waarin de proportie der tweede kategorie gevonden wordt. Een kleine afwijking in de uitbreiding der groene energie kan, zooals blijken zal, daarvan rekenschap geven. Maar in elk geval staat het vast, dat van alle tweekleurenstelsels alléén de groenblindheid tot het normale stelsel voert en de overgangsvormen voor verreweg het grootste gedeelte in een bepaalde kategorie van zwakken kleurzin samentreffen.

13. *Het normale stelsel* kenmerkt zich door de grenzen van zijn spectrum, constanter aan de roode dan aan de violette zijde, door de stijging der intensiteiten van beide zijden naar het geel, waarin een weinig rechts van D het maximum ligt, door de continuëele kleursveranderingen (de grenzen uitgezonderd) van punt tot punt, die voor de kleinste verschillen in golflengte merkbaar zijn van het oranje tot het geel-groen, en door de hooge saturatie zijner kleuren, hooger dan die der voorwerpen, die allen gemengd licht uitzenden. De sensatie van hoogste verzadiging geeft echter het enkelvoudige licht, als zoodanig, nog niet: zij ontstaat eerst, wanneer het oog door een voorafgegane inwerking der complementaire kleur voor deze is vermoeid geworden (HELMHOLTZ) In neutralen toestand van het orgaan geeft dus ook het enkelvoudige licht, naast zijn specifieke kleur, nog de sensatie van wit, een overblijfsel van den oorspronkelijken lichtzin.

Op de kleur en vooral op de saturatie is de intensiteit niet zonder invloed. In het spectrum van het directe zonlicht vinden wij het groen tot een smalle streep samengekrompen (CHODIN), aan de ééne zijde voor geel, aan de andere voor blauw plaats makende, voorts het violet in een bijna kleurloos wit of grijs herschapen. En tot een zwak licht teruggebracht, verdwijnt schier alle kleur (het minst nog het rood), en maakt plaats voor een grauwen 1) toon.

Vermengt men twee kleuren, die ver uiteen liggen, dan vormen zich de purpertonen, die in het spectrum gemist worden; en naderen de componenten tot elkander, dan verbleekt het mengsel, om in wit over te gaan: de kleuren zijn dan complementair. Als zoodanig kennen wij rood en blauwachtig groen, die, beide verschuivende naar de meer breekbare zijde, complementair blijven, ten laatste als geel of groenachtig geel en violet. Het eigenlijke groen en

---

1) Vergelijk: *Koninklijke Akademie van Wetenschappen, Proces-verbaal*, 1880—1881, N⁰. 8, waar een spectroscoop beschreven is, waarmede golflengte en spleetwijdte in het absolute duister naar welgevallen geregeld worden.

geelachtig groen missen dus in het spectrum hun complementaire kleur, die in een mengsel der beide uitersten, rood en violet, gevonden wordt. Alle kleuren, die dichter bij elkander liggen dan de complementaire, vormen een der tusschenkleuren, afhankelijk van de proportie der componenten, en binnen zekere grenzen in de volle saturatie der spectraalkleur, daarbuiten in een geringere. Vooral lijdt de saturatie, wanneer groen een der componenten, meer nog, wanneer groen het mengsel is (J. J. MÜLLER).

In het normale stelsel zijn, afgezien van saturatie, individuëele verschillen niet bijzonder groot. Bij de verkorting van het spectrum aan de violette zijde, is de gele kleur der lens, aan gevorderden leeftijd eigen, van invloed. Vermindering van de gevoeligheid voor overgangen van geel tot groen vonden wij met onze dubbelprismen (zie boven), zonder dat in de vergelijking $Li + Tl = Na$, de verhouding $Li : Tl$ van de normale afweek, en verder ook zonder merkbare stoornis van den kleurzin. Omtrent de ligging der enkelvoudige kleuren, rood, geel, groen en blauw, zijn verschillende waarnemers het ook tamelijk eens; alleen plegen diegenen, wier coëfficiënt $Li : Tl$ betrekkelijk groot is, het enkelvoudige geel iets meer naar de zijde van het groen, het enkelvoudige groen meer naar de zijde van het blauw te zoeken; dit verband kwam bijzonder duidelijk te voorschijn bij Dr. SULZER, bij wien die coëfficiënt op het linkeroog buitengewoon groot was 1). Overigens, waar verschil in den kleurzin der beide oogen ondersteld werd, bleek mij in de meeste gevallen slechts vermoeidheid van het éene oog in het spel te zijn.

14. *Psychophysische processen van licht- en kleurzin.* Evenals de levensprocessen in het algemeen, kunnen, zooals ik elders betoogde, de psychophysische als niet omkeerbare dissociatie-processen 2) worden beschouwd. Aan de

---

1) Zie: DONDERS, in *Onderzoekingen Physiologisch Laboratorium*, Deel IX, 1884, *Kleurvergelijkingen*, 3. Vergelijkend onderzoek van den kleurzin mijner beide oogen, door Dr. SULZER.

2) Door dissociatie verstaan wij het uiteenvallen eener molecule in twee of meer moleculen van minder gecompliceerde samenstelling (of wel de reactie der moleculen op elkander, zoodat door dubbele ontleding nieuwe moleculen zich vormen): het criterium is, dat de verschijnselen ontstaan onder den invloed eener zekere temperatuur, zonder tusschenkomst van een ander lichaam. Vereenigen de moleculen, waarin een lichaam door warmte is uiteengevallen, zich weêr van zelf tot de oorspronkelijke verbinding, zoodra de oorspronkelijke voorwaarden van temperatuur en spanning terugkeeren, dan heet het proces omkeerbaar: in omkeerbare dissociatie met zuurstof verkeert de haemoglobine in het bloed. Niet omkeerbaar daarentegen is, om een voorbeeld te noemen, de dissociatie van ammonia in stikstof en waterstof ($NH^3 + NH^3$, door warmte gesplitst in $N^2 + 3\ H^2$), evenzoo de splitsing der levende moleculen, waarbij CO^2, NH^3, melkzuur enz. ontstaan. Om die splitsing als dissociatie op te vatten, heeft men zich de levende molecule als zeer samengesteld te denken en al de moleculen, die bij onderzoek der doode weefsels te voorschijn komen, door splitsing daaruit geboren, — en gronden daarvoor ontbreken niet. Naast de inwendige warmtebeweging kan ook stralende warmte (de lichtende en de donkere), kan electrische beweging (in levende moleculen bijv.) de aanstoot zijn. Vergelijk omtrent dissociatie: *Onderzoekingen in het Physiologisch Laboratorium*, Utrecht, derde reeks, I. pag. 92, 1802; *Nederlandsch Tijdschrift voor Geneeskunde*, 2de Afdeeling, 1874, pag. 229 en volgende; voorts *Dis-*

volledige dissociatie 1) van de moleculen der lichtzin-substantie beantwoordt de neutrale sensatie van het kleurlooze wit. Zij ontstaat in hare volle reinheid onder den invloed van het gezamenlijke zonlicht. Die dissociatie mag volledig heeten, omdat de moleculen, uit die dissociatie geboren, voor geen verdere dissociatie vatbaar zijn. Dit volgt dááruit, dat bij matige intensiteit de sensatie van wit aanhoudt, zonder van aard te veranderen en zonder tot secundaire sensaties te disponeeren, wat uitsluitend aan de sensatie van wit eigen is. Sluit men nu het licht af, dan gaat de sensatie allengs in zwart over, insgelijks zonder wijziging van haren aard. Daaronder stijgt het aantal moleculen door overwicht der wording en openbaart zich grootere neiging tot dissociatie. Eindelijk kunnen vorming en verbruik hierbij aan elkander gelijk worden, en wel met reductie van beide tot een minimum: de sensatie nadert dan tot zwart, terwijl volmaakt zwart slechts voorkomt plaatselijk, onder den invloed van contrast, naar mijne voorstelling geassocieërd aan de bloote beweging der atomengroepen en atomen der specifieke levende moleculen, genoegzaam zonder dissociatie 2). In dien toestand heeft de gevoeligheid haar maximum bereikt.

De sensaties der enkelvoudige kleuren verbinden wij aan partiëele dissociaties derzelfde moleculen. In tegenstelling der sensatie van wit, die onveranderd aanhoudt, wekken zij de complementaire, die, terstond begonnen, in kracht toeneemt. Het verbleeken der kleur is daarvan het gevolg. Is zij over het geheele gezichtsveld verbreid, dan wordt, in de gewaarwording, de kleur ten slotte bijna onmerkbaar: de sensatie wordt neutraal. De verklaring is deze, dat van de primaire (partiëele) dissociatie moleculen overblijven, welker secundaire dissociatie de complementaire sensatie ontwikkelt. Deze laatsten, in zooverre ze niet weder tot opbouw strekken, dissocieëren gaandeweg spontaan, ook zonder adaequaten prikkel, maar krijgen toch meer en meer de overhand, zoodat, ten slotte, bij gelijke directe en indirecte dissociatie een evenwichtstoestand met neutrale sensatie zou intreden. Zoo vindiceert het orgaan zijn complete energie. Valt nu weder wit licht in het oog, dan doet onmiddellijk de complementaire zich krachtiger gelden, totdat met het verdwijnen der secundaire moleculen het evenwicht weer is hersteld.

Sommige partiëele processen kunnen naast elkander bestaan. Wij zien daarvan het bewijs in de samengestelde kleuren, waarin wij twee enkelvoudige herkennen: geel kan zich én met groen én met rood verbinden, groen met geel en met blauw; blauw met groen en met rood, — te samen vier combinatiën, door welker tusschenkomst de gezamenlijke kleuren een gesloten kring vormen. Die combinaties berusten elk op twee vormen van partiëele dissociatie, die naast elkander voorkomen, omdat ze zich niet tot een totale dissociatie kunnen verbinden.

15. *Ontwikkeling van den kleurzin uit den lichtzin.* Ligt nu in de onder

---

sociation dans le sang et dans les tissus, in *Compte-rendu des Séances de l'association Française à Lille*, 1874, pag. 842.

1) Over kleurstelsels, in *Onderzoekingen in het Physiologisch Laboratorium*, derde reeks, Deel VIII, 1881.

2) Vergelijk: *Nog eens, de kleurstelsels*, pag. 49.

12 gekarakteriseerde vormen de ontwikkeling van den kleurzin ons klaar voor oogen? Zóóveel waag ik niet te beweren. Dit alléén konden we vaststellen, dat de groenblindheid door den zwakken kleurzin met het normale stelsel samenhangt. En dat de groenblindheid, zoo als de kleurzin in het algemeen, uit den lichtzin is voortgekomen, is wel geen te gevaarlijke onderstelling. Waar nu kleurzin is, vinden wij, naast den neutralen lichtzin, minstens twee kleuren, die elkander neutraliseeren: ééne kleur naast de neutrale schijnt onbestaanbaar. Het ontstaan van kleuren hebben wij ons dus te denken als de splitsing der neutrale sensatie in twee tegengestelde, gereed zich tot de neutrale te verbinden. Die neutrale stelden wij ons voor gebonden aan de totale dissociatie der lichtzin-moleculen, de kleuren aan de partiëele, — en het ontstaan van kleuren is dus gegeven, zoodra een deel dier moleculen in dier voege wordt gewijzigd, dat zij onder den invloed der langste en onder dien der kortste golven *partiëele* dissociatie ondergaan. Vermeerderen de moleculen, zoo stijgt de saturatie; en worden ze, ook onder den invloed van minder lange en minder korte golven, meer tot partiëele splitsing geneigd, dan breidt ook het gebied der kleuren zich uit, om, ten slotte, in het spectrum nog slechts een smalle streep kleurloos over te laten.

Langs dien weg nu kan uit den neutralen lichtzin de zoogenaamde groenblindheid geboren worden, hetzij onmiddellijk, hetzij door tusschenkomst der roodblindheid, als ontwikkelingstrap. De wording van gene uit deze onderstelt niet anders, dan dat een deel der moleculen zich in dien zin wijzigt, dat zij gevoeliger worden voor stralen van grooter golflengte en voor een deel daarbij ook geneigd tot partiëele dissociatie. Dien middellijken oorsprong acht ik alleszins waarschijnlijk. Daarvoor pleiten de overgangsvormen tusschen rood- en groenblindheid, die, hoe schaarsch ook, niet geheel ontbreken, en niet minder het absoluut normale der type roodblindheid, die, zonder dat verband, een ontwikkelings-anomalie zou zijn, zonder toekomst. In geen geval kan van de roodblindheid rekenschap gegeven worden, zonder met de ontwikkeling te rade te gaan.

Hoe hebben wij ons nu verder den overgang van groenblindheid in zwakken en normalen kleurzin te denken?

Van het standpunt der theorie van YOUNG wordt daartoe het ontstaan gevorderd eener energie, waaraan de sensatie van groen verbonden is. Zij is gegeven, wanneer een deel der moleculen, tot dusverre aan totale dissociatie onderworpen, voor een nieuwen vorm van partiëele vatbaar wordt, — en wel bepaaldelijk onder den invloed der gemiddelde golflengten. Doch hiermede zijn niet alle eischen bevredigd. Ook de oorspronkelijke energieën zouden, zooals wij vroeger betoogden, eene verandering moeten ondergaan. Maar zie, evenals in het primaire proces, verlangt de partiëele dissociatie haar complement in die van de resten der moleculen, en deze openbaart zich al aanstonds in de sensatie der kleur, die ons als nabeeld van groen voor oogen treedt, — in het complementaire purper. Zou dit purperrood, zoo vragen wij verder op grond van analogie, nu ook niet op directe wijze door zekere stralen van het spectrum gewekt worden? — Zoo ja, en wij hebben recht het te onderstellen, dan hebben wij die kleur te zoeken, zoo ver mogelijk verwijderd van het groen, nabij de einden dus van het spectrum; en, inderdaad, verkrijgt het uiterste rood bij niet al te sterk licht wel iets van de purpertint en verraadt het violet ons

duidelijk de inmenging van purper, zooals het uit vereeniging van rood en blauw te voorschijn treedt. Zoo bevestigt zich onze onderstelling, dat de langste zoowel als de kortste golven van het zichtbare spectrum de purpertint wekken, waarmede de beide uiterste kleuren van het spectrum elkander de hand reiken.

Uit de gevallen van eenzijdige kleurblindheid is het hoogst waarschijnlijk geworden, dat de warme kleur van den groenblinde nagenoeg aan de sensatie van geel, de koele aan die van blauw beantwoordt; met de eerste vormt nu het purperrood het naar karmozijn zweemende uiterste rood, en verder de roode en oranjetonen tot aan het geel, en evenzoo aan de koele zijde de violette tonen tot aan het blauw.

Zoodoende zou door combinatie met een bijkomende tweede kleur aan den eisch van verandering der oorspronkelijke energieën voldaan zijn.

Uit analogie heeft men nu verder aan iedere zijde tusschen het groen en het purperrood eene neutrale te wachten (te vergelijken met die van het primaire paar), en wel ongeveer ter plaatse van het geel der warme en van het blauw der koele zijde, die daarom de kleuren van het primaire paar onveranderd vertoonen, alleen *verbleekt* door de neutralen van het tweede. En soortgelijk verbleeken vinden wij, sterk vooral bij geringe en bij groote intensiteit, in de streek van het groen, dat met de bleeke tonen en de neutrale streep van het primaire kleurenpaar samenvalt. De grootste saturatie (het relatief kleinste aantal moleculen in partiëele dissociatie) hebben wij daarentegen te wachten, en vinden wij ook inderdaad, aan de grenzen van het spectrum, waar (afgezien van de fluorescentie van het violet) de donkere, maar gesatureerde einden der beide kleuren samenvallen.

In verband met den oorsprong der beide kleurenparen uit de neutrale energie is er grond aan te nemen, dat beide ook éven ver en — even vér reiken als deze, en dat dus het spectrum ons nabij zijn warm einde een mengsel te zien geeft der kleuren van het primaire en secundaire paar, niet het zuivere rood, het onderstelde purperrood van het secundaire.

In het normale stelsel vinden wij, ten aanzien der kleinste merkbare verschillen van kleur, vrij belangrijke individueele afwijkingen, die met verschillen in saturatie der spectraalkleuren schijnen samen te hangen en er op wijzen, dat het, bij velen althans, den hoogsten trap van ontwikkeling, waarvoor het vatbaar is, nog niet heeft bereikt.

De zoogenoemde violetblindheid vertoont ons een praematuur ontstaan van het secundaire kleurenpaar vóór het primaire, — schijnt dus een anomalie, die niet als ontwikkelingstrap is op te vatten.

B E S L U I T.

Zoo als men ziet, voerden onze beschouwingen over de ontwikkeling van den kleurzin, in overeenstemming met de theorie van HERING, tot een stelsel van twee kleurenparen. Bij de ontwikkeling van den zwakken en normalen kleurzin uit het tweekleurenstelsel der groenblinden werd, van het standpunt der theorie van YOUNG, het toetreden der energie van groen gevorderd, en daarbij tevens wijziging der twee bestaande energieën, die moes-

ten ophouden eomplemeutair te zijn. Ontwikkelde zieh nu dergelijke groene energie, als een bepaalde vorm van particele dissociatie van kleurzin-moleculen, dan lag het voor de hand, naast deze een complementaire te postuleeren, die wel geen andere zijn kau als purperrood. En met dit complementaire purperrood, aan de oorspronkelijke energieën toegevoegd, was niet alléén aan den eisch voldaan, dat deze zoudeu ophouden eomplementair te zijn, maar werd ook van de kleursensaties, aan de verschillende golflengten eigen, — in verband met de neutralen, die, aan weêrszijden, het groen van het karmozijn moesten scheiden, — zoo als wij zagen, op alleszius bevredigende wijze rekenschap gegeven 1).

Ben ik uu, op grond dier genetische besehouwingen, geneigd het normale stelsel tot twee kleurenparen terug te brengeu, het is er verre van af, dat ik hiermede de door HERING ontwikkelde theorie zou omhelzen. Tegen de kleurenparen heb ik mij nimmer verzet. Integendeel, ik heb getraeht te betoogen, dat ze, als enkelvoudige kleuren, zich met de theorie van YOUNG zeer wel laten verzoenen, en dat zij althans geen inbreuk maken op het hoofdbeginsel dier theorie: dat der physiologische energieën, gereduceerd tot een zoo klein aantal mogelijk. Wat ik bestreed, is het karakter der „Gegenfarben", hare betrekking tot Dissimilirung D en Assimilirung A, de analogie van ieder kleurenpaar met wit en zwart, de verklaring der intensiteiten uit *de verhouding* van Dissimiliruug en Assimilirung, zonder aeht te slaan op hare *absolute* waardeu, met één woord, de kern en het wezen der theorie, — en ik neem daarvan niets terug 2). In hoever uit bepaliugen omtrent de verhouding der intensiteit van mengsels tot de som van die hunner componenten nog toenadering zou kunnen voortvloeien tot de theorie van HERING, kan eerst blijken na een veelomvattend onderzoek, over het geheele spectrum zich uitstrekkende.

Aan de andere zijde heb ik mijne bezwaren tegen de theorie van YOUNG niet ontveinsd. YOUNG had voorop gezet, „dat *de volmaakte* sensaties van geel en van blauw worden voortgebracht resp. door meugsels van rood en groen en van groen en violet." Op de juistheid dezer uitspraak kwam het aan. Daaromtrent hadden HELMHOLTZ en MAXWELL, die de theorie verder ontwikkelden, zich in de eerste plaats te vergewissen. HELMHOLTZ begon met twijfelen, maar eindigde toeh met zich te houden aau de drie fundamenteele kleuren van YOUNG. Vrijheid in de keuze der energieën, mits ze slechts gezamenlijk wit vormden, had men, mijns inziens, niet. Bij dergelijke vrijheid liep men gevaar zoodanige te kiezen, als reeds uit twee of meer gemengd waren, eu het aantal kon dan in werkelijkheid grooter zijn dan het aantal, waartoe men meende zich beperkt te hebben. Ik hield mij, zooals trouwens ook YOUNG en HELMHOLTZ, aan de beide uitersten, en nu trof het mij, dat ik, althans voor mijn linkeroog, waarvan de kleurzin zelfs volmaakter is dan die van het rechter, geen groen vinden kon, 'twelk met rood van $\lambda = 0.654$ μ en indigo van $\lambda = 0.424$ μ, laat staan met het uiterste rood en violet, resp. een dragelijk geel en blauw vormde, voorts, dat bij het vermengen van het enkelvoudige groen en rood

1) Verg. HERING. *Zur Erklärung der Farbenblindheit aus der Theorie der Gegenfarben.* 1880. § 2.

2) Vergel. boven, I. Bladz. 76.

hoogstens een zeer bleeke toon van geel te verkrijgen was. Ik heb er op gewezen, dat ook nabij het roode einde van het spectrum, waar toch de samenwerking der drie energieën niet kon worden aangenomen, het maximum van saturatie niet bereikt werd, en dat het wit in de spectraalkleuren niet enkel kon te zoeken zijn in de samenwerking der drie energieën, maar veeleer als een overblijfsel gelden moest der oorspronkelijke neutrale sensatie, die aan den kleurzin was voorafgegaan; en, in verband daarmede, kwam ik tot de conclusie, dat de kleurblindheid niet te verklaren was door het uitvallen of terugblijven van één der energieën, maar in een onvolkomene differentiatie, die in een stelsel met twee complementaire kleuren hare uitdrukking vindt.

Maar dit alles belette mij niet aan de theorie van YOUNG vast te houden. Dit scheen mij plichtmatig en tevens rationeel. Wijziging kon worden beproefd, zonder het beginsel op te offeren. Iedere poging tot het ontwerpen eener nieuwe theorie scheen en schijnt mij ook nog ontijdig. Te vele en te gewichtige punten, die daarbij als grondslag moeten dienen, wachten nog op een nader onderzoek. In de eerste plaats reken ik daartoe het quantitatief vaststellen der verschillende componenten-paren, waardoor iedere spectrale kleur kan worden voortgebracht, met bepaling tevens van hare saturatie in betrekking tot die der spectrale kleur, en van hare intensiteit, in betrekking tot de som van de intensiteiten der componenten, en wel bij verschillende graden van lichtsterkte en voor de verschillende kleurstelsels, voorts, in verband met die stelsels, de verdeeling der intensiteit over het geheele spectrum, en tal van vragen, die met deze beide punten in verband staan.

Met dergelijke bepalingen houd ik mij sedert geruimen tijd onledig, maar vorder langzaam, omdat gaandeweg de methoden verbeterd worden en de verkregen bepalingen dan, als niet onberispelijk, moeten worden ter zijde gesteld. Onder medewerking van eenige jonge vrienden, wien het niet aan ijver en belangstelling ontbreekt, hoop ik ze intusschen binnen niet al te langen tijd te kunnen afsluiten. Wellicht bestaat er dan aanleiding, op de theorieën terug te komen.
